

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ  
ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БУРИЛЬНЫХ МОЛОТКОВ

О. Д. Алимов, В. Ф. Горбунов

Критерием оценки технических данных пневматических бурильных молотков при проведении сравнительных испытаний в большинстве случаев является скорость бурения. Иногда для

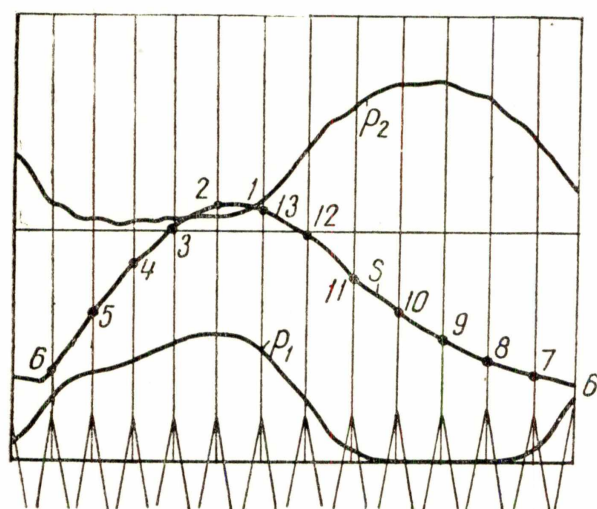


Рис. 1. Осциллограмма хода поршня и давления воздуха в молотке RH-754 при 4 атм.

сравнения используют общий расход воздуха пневматическим бурильным молотком и очень редко коэффициент полезного действия. При определении качества электрических машин ударного действия, наоборот, в первую очередь определяется к. п. д. машины. Сопоставления к. п. д. электрических и пневматических бурильных молотков показывают, что последние по эффективности намного хуже электрических. Поэтому на первый взгляд

кажется, что работы по усовершенствованию пневматических бурильных молотков должны быть направлены на повышение их к. п. д. Однако проведение указанных работ затруднено в связи с тем, что при промышленных испытаниях невозможно определить значение к. п. д. испытываемых молотков. Это легче осуществить в лабораторных условиях.

При экспериментальном исследовании рабочего процесса пневматических бурильных молотков [1] мы определяли их к. п. д. по следующей методике. В лаборатории при бурении горной породы записывались осциллограммы хода поршня и дав-

ления воздуха в полостях цилиндра. Это дает возможность легко построить индикаторные диаграммы в координатах «давление воздуха — ход поршня» (сокращенно  $p-S$ ), т. е. диаграммы давления по пути. Такие диаграммы позволяют провести более глубокое изучение конструкции бурильного молотка и определить ряд параметров его рабочего процесса и, в частности, механического и индикаторного к. п. д. молотка.

Рассмотрим методику построения и обработки диаграмм на примере диаграммы молотка RH-754 при давлении воздуха в се-

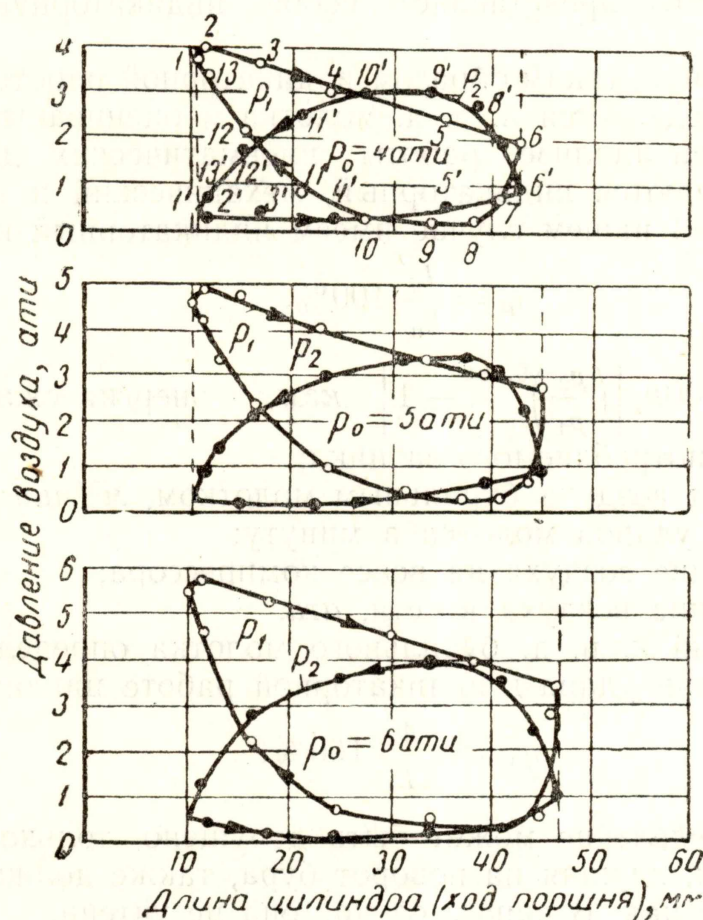


Рис. 2. Индикаторные диаграммы молотка RH-754.

ти 4 атм и оптимальном усилии подачи. Диаграмма хода поршня и давления воздуха по времени (рис. 1) разбивалась на ряд периодов, границы которых обозначались вертикальными линиями. Величина хода поршня, соответствующая каждой из граничных линий, являлась абсциссой индикаторной диаграммы, а давление воздуха в задней  $p_1$  и передней  $p_2$  полостях цилиндра — ординатами индикаторной диаграммы соответствующей полости (рис. 2).

Площадь диаграммы  $p_1-S$  отражает индикаторную работу сжатого воздуха в задней полости молотка.

$$L_1 = m_1 F_1 \text{ кгм,}$$



где  $m_1$  — масштаб индикаторной диаграммы задней полости,  $\text{кгм/см}^2$ ;

$F_1$  — площадь индикаторной диаграммы задней полости,  $\text{см}^2$ .

Площадь диаграммы  $p_2$ — $S$  отражает индикаторную работу, совершенную воздухом в передней полости цилиндра

$$L_2 = m_2 F_2 \text{ кгм},$$

где  $m_2$ ,  $F_2$  — соответственно масштаб и площадь индикаторной диаграммы передней полости цилиндра.

Сумма  $L_1 + L_2$  представляет собой индикаторную работу цикла.

По вычисленной таким образом индикаторной работе и расходу воздуха определяется к. п. д. молотка и оценивается его рабочий цикл. При анализе работы пневматических двигателей обычно определяются индикаторный, механический и эффективный к. п. д. [2]. В нашем случае имеем индикаторный к. п. д.

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_{\Pi}} 100\%,$$

где  $L_{\Pi} = \frac{W}{n} 3500 p_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0,286} - 1 \right] \text{ кгм}$ , энергия сжатого воздуха, потребляемого за цикл;

$W$  — расход воздуха бурильным молотком,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$n$  — число ударов молотка в минуту;

$p_1$  — давление воздуха на всасе компрессора;

$p_2$  — давление воздуха в сети,  $\text{ати}$ .

Механический к. п. д. бурильного молотка определяется отношением энергии удара к индикаторной работе цикла

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{A_y}{L_i} 100\%,$$

хотя такое определение может быть допущено только условно, так как энергия, идущая на поворот бура, также должна учитываться как полезная. В нашем случае она не учтена.

Эффективный к. п. д. бурильного молотка можно определить как произведение индикаторного на механический к. п. д. или как отношение энергии удара к потребляемой за цикл энергии

$$\eta_0 = \eta_i \eta_{\text{мех}} = \frac{A_y}{L_{\Pi}}.$$

Продолжая анализ рабочего процесса молотков, мы строили силовые диаграммы для рабочего и обратного ходов поршня. Силовую диаграмму рабочего хода строили следующим образом: ординаты диаграммы  $p_1$ — $S$  на участке 1—6 (рис. 1—2) умножали на полезную площадь поперечного сечения цилиндра, что определяло масштаб оси ординат для силовой диаграммы рабочего хода

$$m_f = p_1 Q \text{ кг/деление},$$

где  $Q$  — полезная площадь поршня со стороны золотниковой коробки,  $\text{см}^2$ .

Масштаб оси абсцисс оставался таким же, как и при построении индикаторных диаграмм.

Силовая диаграмма показывает характер изменения силы, движущей поршень по его пути. Для молотка RH-754 при давлении воздуха 4 *ати* и оптимальном усилии подачи (рис. 3) движущее поршень усилие при рабочем ходе плавно изменяется от 150—160 кг в начале хода до 50—55 кг в конце его, т. е. в момент соударения поршня с буром. На основании того, что усилие прижатия поршня к буру в момент их соударения еще довольно большое, легко объяснить наблюдаемое нами явление, что

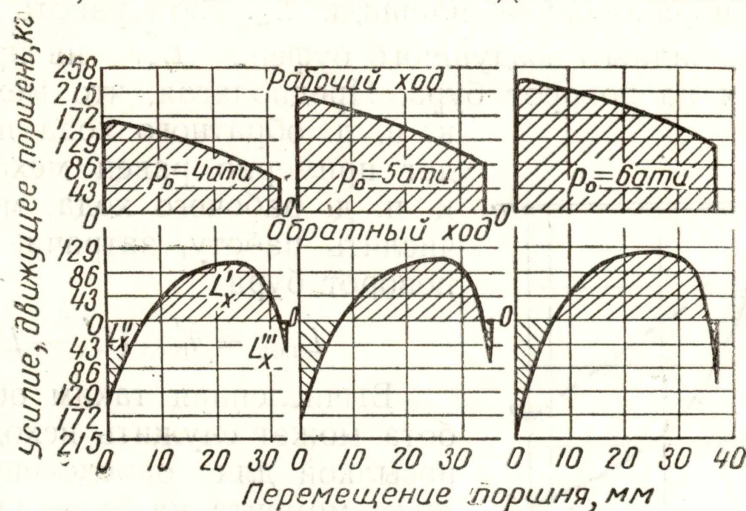


Рис. 3. Силовые диаграммы RH-754.

поршень бурового молотка после удара по буру практически не отскакивает от него и начинает движение назад после кратковременной остановки в конце хода. Подобное явление наблюдается и при работе молотка с большим давлением воздуха, причем величина усилия, действующего на поршень в любой момент его хода, соответственно увеличивается.

Площадь силовой диаграммы рабочего хода отражает работу, совершенную сжатым воздухом во время рабочего хода поршня. По величине полезной части этой работы (энергии удара) можно определить механический коэффициент полезного действия рабочего хода поршня

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{A_y}{L_p} \cdot 100\%,$$

где  $L_p$  — индикаторная работа воздуха при рабочем ходе поршня.

Этот к. п. д. отражает механические потери энергии и должен учитываться при определении энергии удара аналитически или по индикаторным диаграммам. По силовой диаграмме легко опре-



делить и среднее давление воздуха по пути поршня, необходимое для определения энергии удара расчетом

$$p_{\text{ср}} = \frac{L_p 100}{QS} \text{ ати},$$

где  $Q$  — площадь, поперечного сечения задней полости цилиндра,  $\text{см}^2$ ;

$S$  — ход поршня,  $\text{см}$ .

Силовая диаграмма обратного хода поршня использовалась нами для определения энергии, идущей на поворот бура и сжатие заднего воздушного буфера.

Работа, совершенная сжатым воздухом при обратном ходе поршня, пропорциональна площади  $L'_x$ . Эта работа расходуется на сжатие заднего воздушного буфера  $L''_x$ , на преодоление сил трения и на поворот бура. Предполагая, что механический

к. п. д. обратного хода поршня будет примерно равен механическому к. п. д. рабочего хода, можно вычислить работу, затрачиваемую на поворот бура

$$L_{\text{пов}} = \eta'_{\text{мех}} (L'_x - L''_x) \text{ кгм.}$$

Вычисленная таким образом работа может служить исходной предпосылкой для определения крутящего момента на буре. Однако нам не известен с достаточной точностью к. п. д. поворотного механизма, что затрудняет подсчет крутящего момента. По этой же причине мы не вводим расход энергии на поворот бура в формулу для определения эффективного к. п. д. молотка.

Из вышеописанного следует, что, применяя соответствующую методику исследования, можно получить данные для определения как общего (эффективного), так индикаторного и механического коэффициентов полезного действия пневматических бурильных молотков.

Как мы указывали выше, к. п. д. современных пневматических бурильных молотков, равный 8—24%, много ниже к. п. д. электрических молотков. Рассмотрим возможность повышения к. п. д. бурильных молотков путем анализа индикаторных и силовых диаграмм молотка RH-754-1W.

На рис. 4 показаны действительная и теоретические диаграммы рабочего хода поршня. При существующей конструкции молотка и работе его на давлении воздуха в сети 4 ати и оптимальном усилии подачи реальная диаграмма рабочего хода изображается циклом *okld*. При этом энергия удара составляет

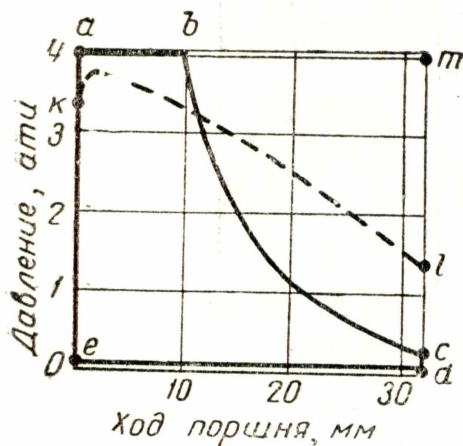


Рис. 4. Сравнение различных рабочих циклов бурильного молотка.

3,1 кгм, индикаторная работа воздуха при рабочем ходе  $L_p = 3,8$  кгм, механический к. п. д.  $\eta_{\text{мех}} = 0,8$ , индикаторный к. п. д.  $\eta_i = 23,6\%$ , потребляемая энергия за цикл  $L_{\text{п}} = 16$  кгм. Для получения более высокого к. п. д. молотка необходимо добиться такого положения, чтобы выхлоп воздуха из полости молотка происходил с минимально возможным давлением [2], т. е. полнее использовать энергию сжатого воздуха, впущенного в цилиндр. Исходя из этого, нами построен цикл  $abcde$  (рис. 4), при котором предусматривается осуществление впуска воздуха в полость цилиндра на коротком участке пути поршня. Затем впущенный воздух расширяется почти до атмосферного давления. При этом, естественно, сокращается расход воздуха.

В первом приближении можно принять, что потребляемая за цикл энергия будет

$$L'_p = L_{\text{п}} \frac{ab}{at} = 16 \frac{10}{32} = 5 \text{ кгм.}$$

При этой подведенной энергии за счет полного расширения воздуха в цилиндре молотка можно получить энергию удара

$$A'_y = \eta'_{\text{мех}} L'_p \text{ кгм,}$$

где  $L'_p = 3,0$  кгм — индикаторная работа по диаграмме;  
 $\eta'_{\text{мех}} = 0,8$  — механический к. п. д. рабочего хода молотка RH-754.

Подставляя значения, получим

$$A'_y = 0,8 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ кгм.}$$

Индикаторный к. п. д. цикла

$$\eta'_i = \frac{L'_p}{L'_{\text{п}}} = \frac{3,0}{5,0} = 0,6, \text{ или } 60\%.$$

Следовательно, за счет сокращения времени впуска воздуха в полость молотка можно увеличить его индикаторный к. п. д. более чем вдвое, но при этом несколько снизится энергия удара и число ударов. Ориентировочный подсчет показывает, что подобное изменение цикла молотка приведет к уменьшению его ударной мощности на 35%. Кроме того, следует учесть, что конструктивно осуществить новый цикл ( $abcde$ ) гораздо сложнее, чем это осуществлено, например, у молотка RH-754. Однако, на наш взгляд, надо обратить серьезное внимание на всестороннее изучение возможностей и экономической целесообразности конструирования бурильных молотков с подобным циклом.

Основным показателем качества ручных бурильных молотков является удельная мощность, приходящаяся на единицу его веса. В связи с этим при создании ручных молотков первостепенной задачей должно быть максимально возможное увеличение мощ-



ности машины при сравнительно небольшом ее весе. Поэтому снижение мощности и увеличение веса (за счет дополнительных устройств для отсечки сжатого воздуха при впуске его в цилиндр) явно невыгодно с эксплуатационной точки зрения. Следовательно, путь усовершенствования ручных машин только за счет повышения их к. п. д. для практики не приемлем.

Заслуживает внимания также другой теоретический цикл работы бурильного молотка *amde* (рис. 4). В этом случае сжатый воздух подается в полость молотка на всей длине хода поршня и при максимальном наполнении полости. Индикаторная работа цикла *amde* составит  $L_p'' = 4,8 \text{ кгм}$ . Это позволит получить энергию удара  $3,8 \text{ кгм}$  и несколько большее, чем у RH-754, число ударов. Расход воздуха, очевидно, должен существенно повыситься. Допустим, что расход воздуха повысится в два раза, что пропорционально квадрату увеличения индикаторной работы цикла, тогда

$$L_p'' = 2 \cdot 16 = 32 \text{ кгм}.$$

Индикаторный к. п. д. составит

$$\eta_i'' = \frac{4,8}{32} \cdot 100 = 15\%,$$

что только на  $8,6\%$  меньше, чем у молотка RH-754. Следовательно, видоизменяя индикаторную диаграмму молотка RH-754, можно повысить его мощность примерно на  $30\%$ .

Из приведенного таким образом расчета видно, что возможные варианты создания новых пневматических бурильных молотков ограничиваются двумя крайними диаграммами, приведенными на рис. 4. Практически осуществимые диаграммы при данных размерах цилиндра молотка будут иметь индикаторный к. п. д. в пределах  $15\text{—}60\%$ . Современные высокочастотные бурильные молотки с клапанным и золотниковым воздухораспределением имеют рабочий цикл, более близкий к циклу, построенному исходя из получения максимальной энергии удара, чем к экономически целесообразному рабочему циклу. Отличительные особенности имеют лишь диаграммы беззолотниковых бурильных молотков Т-10 и Т-10с, в которых осуществлена «отсечка» сжатого воздуха в полостях цилиндра после кратковременного его впуска. Это позволило значительно повысить индикаторный и эффективный к. п. д. молотков (рис. 5).

При давлении воздуха в сети  $5 \text{ атм}$  индикаторный к. п. д. молотка Т-10с составляет  $37\%$ , т. е. в полтора раза больше, чем у молотков RH-754, ПР-25 и других молотков с золотниковым воздухораспределением. Причем для молотков Т-10 характерно то, что с повышением давления воздуха в сети их коэффициент полезного действия уменьшается. Это происходит за счет удлинения хода поршня при больших давлениях воздуха, в результате

чего удлиняется участок  $ab$  (рис. 4), на котором происходит впуск воздуха в полость цилиндра. Следовательно, при работе молотков Т-10 на больших давлениях воздуха (6—7  $ати$ ) их рабочий цикл приближается к циклам золотниковых молотков со всеми вытекающими отсюда последствиями (уменьшением к. п. д. и относительным увеличением ударной мощности).

На примере молотков Т-10 и Т-10с видна явная целесообразность конструирования молотков с рабочим циклом, предусматривающим сокращение периода впуска воздуха в полости молот-

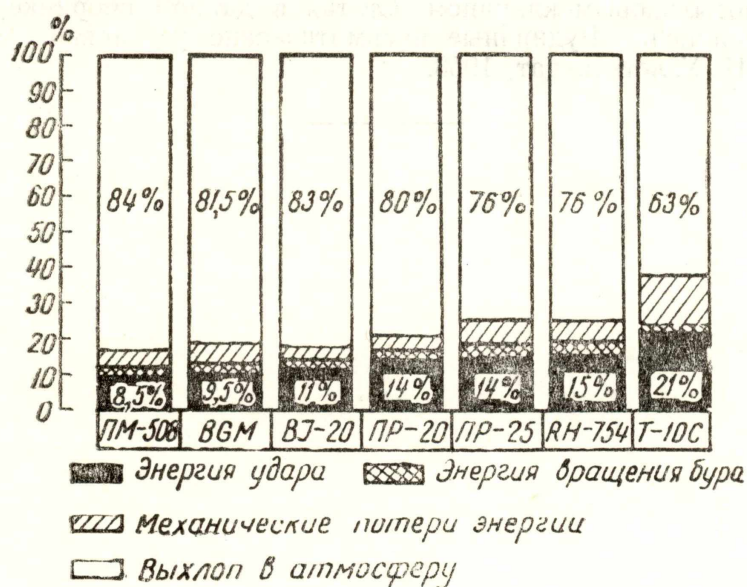


Рис. 5. Энергетический баланс бурильных молотков при  $p=5$   $ати$ .

ка. Как видно из рис. 5, к. п. д. молотка Т-10с при давлении воздуха в сети 5  $ати$  превосходит по величине к. п. д. всех испытанных нами бурильных молотков.

### ВЫВОДЫ

1. Коэффициент полезного действия пневматических бурильных молотков является одним из важных показателей их технической характеристики и должен учитываться при проведении сравнительных испытаний.

2. Подсчет к. п. д. бурильных молотков может быть произведен по изложенной выше методике в случае одновременной записи диаграмм давления воздуха в полостях молотка и перемещения поршня.

3. При конструировании пневматических бурильных молотков следует учитывать возможные варианты получения от данной конструкции максимальной мощности или максимального коэффициента полезного действия. Для ручных бурильных молотков предпочтительнее первый из указанных вариантов.



4. Повышением коэффициента полезного действия беззолотниковых молотков Т-10 и Т-10с по сравнению с золотниковыми бурильными молотками (без снижения мощности) доказана целесообразность разработки на их основе аналогичных схем воздухораспределения мощных и экономичных колонковых бурильных молотков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Горбунов. Исследование внутреннего процесса бурильных молотков с мотыльковым клапаном. Статья в данном сборнике.
  2. А. С. Ильичев. Рудничные пневматические установки. Собрание трудов, т. II, Углетехиздат, 1953.
-